

0- 778621

На правах рукописи



**Зубова Юлия Владимировна**

**ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ  
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ  
НА УСТАНОВКАХ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ  
И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Мурманск – 2009

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Федерального агентства по рыболовству «Мурманский государственный технический университет» (ФГОУВПО «МГТУ», г. Мурманск)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор  
**НАМГАЛАДЗЕ** Александр Андреевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор  
**МИХАЙЛОВ** Андрей Валерьевич  
кандидат физико-математических наук  
**ЮРИК** Роман Юрьевич

Ведущая организация: Государственное учреждение “Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт” Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ГУ ААНИИ, г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится 29 сентября 2009 г. в 16 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.237.01 при Учреждении Российской академии наук Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН по адресу: 142190 г. Троицк, Московская обл., ИЗМИРАН

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗМИ

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ

Автореферат разослан “ 09 ” июля 2009 г.



0000549200

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.237.01

доктор физ.-мат. наук

*Ю.М. Михайлов*

Михайлов Ю.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена исследованию физической сути явлений, происходивших в ионосфере в периоды сильных геомагнитных бурь и в предшествующие им спокойные периоды, на основе анализа данных радаров некогерентного рассеяния с помощью глобальной численной модели верхней атмосферы Земли.

**Актуальность исследования.** В последние несколько лет вследствие всё большего освоения и практического использования околоземного пространства резко возросла потребность человечества в прогнозах космической погоды - совокупности явлений, происходящих в верхних слоях земной атмосферы и околоземном космическом пространстве. Исследование космической погоды и ее прогнозирование сейчас являются одним из ведущих направлений мировой науки.

Сегодня, как и раньше, значительную роль играет радиосвязь, успешно конкурируя с проводными структурами. Характеристики распространения радиоволн непосредственным образом связаны с состоянием ионосферы, как среды их распространения, поэтому прогнозы космической погоды, в первую очередь состояния ионосферы Земли, необходимы для обеспечения качества беспроводной связи.

На ионосферных высотах летают спутники, предназначенные для дистанционного зондирования поверхности Земли, различные научно-исследовательские спутники, метеорологические спутники, спутники фото- и радиолокационной разведки и целеуказания. Важное практическое применение прогнозов состояния верхней атмосферы состоит в том, чтобы предсказывать возможные изменения орбит, торможение и потерю высоты полёта этих спутников, вызванные повышением температуры плазмы и нейтрального газа, а также плотности атмосферы. Существенна при этом тесная взаимосвязь поведения нейтральных и заряженных частиц – так называемое ионосферно-термосферное взаимодействие.

Прогнозы космической погоды нужны для контроля над радиацией, которая представляет угрозу для экипажей космических и летательных аппаратов и бортовых радиоэлектронных систем. Во время магнитных бурь из-за дополнительного неравномерно распределённого заряда на поверхности геостационар-

ных спутников может выйти из строя их электрооборудование. Кроме того, выпадающие при геомагнитных возмущениях из магнитосферы энергичные частицы представляют опасность для экипажей летательных аппаратов.

Всё вышесказанное свидетельствует об актуальности исследований физических процессов и явлений в верхней атмосфере. В дальнейшем, как и сейчас, своевременные прогнозы космической погоды будут крайне востребованы.

### **Цель диссертационной работы.**

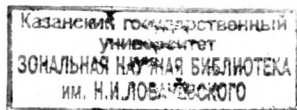
1. Физико-математическое моделирование поведения ионосферы Земли в периоды сильных геомагнитных бурь 2001 и 2002 года и предшествующие им спокойные периоды с помощью глобальной численной модели верхней атмосферы Земли (UAM) и эмпирической модели ионосферы (IRI-2001).

2. Сопоставление результатов численных расчётов с данными радаров некогерентного рассеяния радиоволн и эмпирической модели ионосферы, установление причин качественного и количественного расхождения модельных значений с измерениями и объяснение в терминах физических процессов результатов радарных наблюдений за состоянием ионосферы.

3. Выявление основных механизмов воздействия геомагнитных бурь на ионосферу путём численных экспериментов с использованием глобальной численной модели верхней атмосферы Земли (UAM).

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- провести с помощью модели UAM математические расчёты распределений электронной концентрации, ионной и электронной температур во время сильной геомагнитной бури 31 марта 2001 года и в период 15-20 апреля 2002 года, протекавший как в геомагнитно спокойных, так и возмущенных условиях;
- сопоставить результаты численных расчётов с данными радаров некогерентного рассеяния радиоволн и эмпирической модели ионосферы IRI-2001, найти причины качественного и количественного расхождения модельных значений с измерениями и объяснить в терминах физических процессов результаты радарных наблюдений за состоянием ионосферы;





- путём численных экспериментов с использованием численной модели UAM выявить основные механизмы воздействия геомагнитных бурь на ионосферу Земли;
- определить степень зависимости результатов численного моделирования от входных параметров модели, значений коэффициентов в уравнениях, выбора способа расчёта тех или иных параметров верхней атмосферы Земли.

**Метод исследования** – метод математического моделирования с использованием глобальной численной модели верхней атмосферы Земли (Upper Atmosphere Model – UAM). В модели UAM поведение многокомпонентной околоземной плазмы описывается нестационарными квазигидродинамическими трёхмерными уравнениями непрерывности, движения и теплового баланса для нейтрального, ионного и электронного газов и уравнение для потенциала электрического поля. Модель рассчитывает физико-химические характеристики верхней атмосферы Земли в зависимости от широты, долготы, высоты и времени для любых гелио-геофизических условий (времени суток, сезона, уровней солнечной и магнитной активности и т.п.). Глобальность модели заключается в том, что расчёт ведётся на пространственных сетках численного интегрирования, полностью охватывающих глобус по широте и долготе.

### **Научная новизна работы**

1. Показано, что метод радарных оценок скорости термосферного ветра на высотах E-области ионосферы обладает высокой чувствительностью к значениям электрического поля и, следовательно, к погрешностям его измерения, что может приводить к существенным ошибкам метода в оценках скорости ветра вплоть до изменения знака ветра.

2. Впервые проведено сопоставление ионосферных параметров, полученных по модели UAM, с данными измерений семи радаров некогерентного рассеяния, что позволило оценить причины как общих закономерностей, так и локальных особенностей динамики ионосферы на высотах F2-области в этот период и выполнить калибровку входных параметров модели UAM.

3. Впервые с помощью глобальной численной модели верхней атмосферы Земли (UAM) предложен механизм поддержания аномально высоких значений

концентрации электронов на высотах F2-области в ночные часы на субавроральных широтах – дрейф ионосферной плазмы под действием электрического поля, обеспечивающий горизонтальную «сгонку» плазмы к околополночным часам и связанный с перераспределением продольных токов зоны 2, которые расположены в экваториальной части аврорального овала.

**Научная и практическая значимость работы** состоит в том, что полученные в ней результаты могут быть использованы как при интерпретации данных радаров некогерентного рассеяния, так и для прогноза широкого набора параметров верхней атмосферы, включая ионосферу, для различных гелиогеофизических условий, включая регионы, где данные прямых измерений этих параметров отсутствуют. Это важно при решении многих задач, связанных с распространением радиоволн, включая радиосвязь, радиолокацию и т.д.

**Достоверность полученных результатов** обусловлена большим объемом анализируемых данных, повторяемостью полученных результатов для близких, но разнесенных по времени гелиогеофизических условий, физической обоснованностью известных исходных уравнений и принципов, на которых базируется численная модель верхней атмосферы.

#### **На защиту выносятся:**

1. Способ определения чувствительности существующего метода радарных оценок скорости термосферного ветра на высотах E-области ионосферы к величине электрического поля, показавший ограничения этого метода вплоть до ошибок в определении знака скорости ветра.
2. Результаты сопоставления модельных расчетов с данными наблюдений семи радаров некогерентного рассеяния, позволившие выполнить калибровку и уточнение модели UAM.
3. Механизм формирования anomalно высоких значений концентрации электронов на высотах области F2 в ночные часы на субавроральных широтах, основанный на горизонтальной «сгонке» плазмы к околополночным часам электромагнитным дрейфом.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих Российских и Международных научных мероприятиях: Всероссийские научно-технические конференции "Наука и образование" (Мурманск 2002, 2003); Международные научно-технические конференции "Наука и образование" (Мурманск 2004, 2005, 2007, 2008, 2009); XXV–XXVIII, XXX–XXXII семинары «Physics of Auroral Phenomena» (Апатиты 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009); European Geosciences Union General Assembly 2005 (Vienna, Austria, 2005); 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup> и 7<sup>th</sup> International Conference "Problems of Geocosmos" (Санкт-Петербург 2002, 2004, 2008); IUGG XXIV General Assembly (Perugia, Italy, 2007).

Материалы диссертации доложены и обсуждены также на рабочем семинаре в ПГИ КНЦ РАН (Апатиты, Мурманская обл.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 31 работа, из них 2 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК, 1 статья в рецензируемом журнале, 14 работ в трудах научных конференций и 14 тезисов докладов.

*Примечание:* в списке работ имеются публикации, выполненные под фамилией, которую автор Зубова Ю.В. имела в замужестве (Фадеева).

**Личный вклад автора.** Автором лично выполнены все численные расчёты ионосферных параметров, обработаны и проанализированы результаты этих расчётов, дана их физическая интерпретация. Автор принимала участие в обсуждении и написании статей, тезисов докладов и материалов конференций.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав и заключения. Работа содержит 145 страниц печатного текста, в том числе 74 рисунка. Список цитируемой литературы включает 166 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во **Введении** сформулированы цель работы, поставленные перед диссертантом задачи; обосновываются актуальность темы исследования, научная новизна полученных результатов, их практическая ценность и достоверность. Кратко изложено содержание работы.

В **первой главе** диссертационной работы кратко описаны основные этапы развития численного моделирования как метода изучения ионосферы Земли (пп. 1.1). Перечислены наиболее перспективные трёхмерные численные ионосферные и ионосферно-термосферные модели, охарактеризованы тенденции развития таких моделей. Описаны общие проблемы при работе с глобальными теоретическими моделями верхней атмосферы и пути их решения (1.2). В главе также представлен обзор статей, посвящённых сопоставлению результатов теоретических моделей ионосферы с данными, полученными различными методами наблюдений: вертикального зондирования, некогерентного рассеяния, измерений на спутниках, ионосферной радиотомографии и т.п. (1.3).

Во **второй главе** приведено описание использованной в диссертационном исследовании глобальной численной модели верхней атмосферы Земли (Upper Atmosphere Model – UAM), которая совместно решает уравнения непрерывности, движения и теплового баланса для моделируемых нейтрального ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $O$ ) и ионизованного (молекулярные ионы  $XY^+$ ,  $O^+$ ,  $H^+$ , электроны) газов и рассчитывает глобальное электрическое поле путём решения уравнения для потенциала. Модель представляет собой несколько отдельных модулей или блоков, в каждом из которых рассчитывается свой набор параметров и процессов на собственной наиболее удобной координатной сетке (2.1). В пп. 2.2 содержится описание общего вида моделирующих уравнений математической физики - нестационарных квазигидродинамических трёхмерных уравнений непрерывности, движения и теплового баланса, а также членов уравнений каждого конкретного блока модели. В модели UAM учитываются следующие фотохимические процессы: фото- и корпускулярной ионизации, диссоциативной рекомбинации, ионно-молекулярные и ионно-атомные реакции. Коэффициенты скоростей этих ре-

акций рассчитываются по приведённым в пп. 2.3 формулам. Граничные условия модели (2.4), необходимые для решения моделирующих дифференциальных уравнений, содержащих производные по координатам, могут формулироваться из физических предположений или экспериментальных данных. Начальные условия - начальные распределения моделируемых параметров в пространственной области (2.5), берутся из эмпирических моделей термосферы и ионосферы, входящих в состав UAM, или из предыдущих модельных расчётов. В пп. 2.6 приведены входные параметры модели: спектры солнечного УФ и КУФ излучения, границы зоны высыпаний и потоки выпадающих электронов и магнитосферные источники электрического поля, которые описываются через задание пространственно-временного распределения продольных токов в зонах 1 и 2 и в области каспа.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования поведения E-области ионосферы над Миллстоун Хиллом во время сильной магнитной бури 31 марта 2001 года (пп. 3.1). Описан вариант расчёта вариаций электронной концентрации, скорости и температуры ионов, электрического поля и скорости нейтрального ветра на высотах E-области над Миллстоун Хиллом, проведённого с помощью численной модели UAM, с указанием способов задания входных параметров и характеристик пространственных сеток интегрирования (3.2). Представлены графики временных вариаций теоретически рассчитанных параметров E-области в сравнении со значениями, наблюдавшимися радаром некогерентного рассеяния во время бури и полученными методом косвенных оценок по результатам радарных измерений ионных скоростей и электрического поля (3.3). Описан процесс поиска причины расхождений модельных результатов с радарными оценками скорости термосферного ветра на высотах E-области ионосферы (3.4). В заключительной части главы (3.5) суммированы основные выводы, которые сводятся к следующему.

Осуществлено математическое моделирование поведения E-области ионосферы и термосферной циркуляции во время сильной магнитной бури 31 марта 2001 года над обсерваторией Миллстоун Хилл. Было достигнуто удовлетворительное согласие (как по характеру поведения, так и по самим величинам) между такими параметрами E-области ионосферы, как электронная плотность, ион-

ная температура, скорости ионов, рассчитанными по модели UAM и измеренными радаром в Миллстоун Хилле 31 марта 2001 года на высотах 100-150 км.

Имело место огромное расхождение (вплоть до противоположных по знаку значений) скоростей нейтрального ветра, полученных по модели UAM и рассчитанных в обсерватории Миллстоун Хилла из измеренных ионных скоростей по следующей формуле радарных оценок скорости термосферного ветра на высотах E-области:

$$\overline{U}_n = \overline{V}_i - \frac{\omega_i}{V_{in}} \cdot \frac{(\overline{E} + \overline{V}_i \times \overline{B})}{|\overline{B}|},$$

где  $\overline{U}_n$  - скорость термосферного ветра;  $\overline{V}_i$  - скорость ионов;  $\omega_i$  - гирочастота ионов;  $V_{in}$  - частота ион - нейтральных столкновений, рассчитываемая из концентраций нейтральных газов по эмпирической модели NRLMSISE-00;  $\overline{E}$  - напряженность электрического поля;  $\overline{B}$  - вектор магнитной индукции.

При этом картины высотно-временных вариаций скорости термосферного ветра на высотах E-области ионосферы, полученные по модели UAM, не противоречат данным наблюдений за глобальной термосферной циркуляцией, полученным спутником WINDII для аналогичного периода (Рис.1).

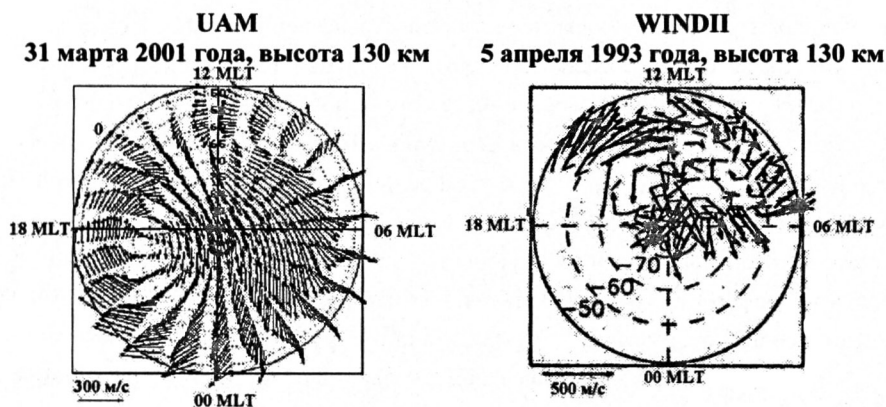


Рис.1. Векторная диаграмма ветров в полярных координатах (геомагнитная широта и местное магнитное время) по модели UAM (слева) и по данным спутника WINDII (справа)

Ряд численных экспериментов и их анализ показал, что причиной значительных отличий скоростей термосферного ветра на высотах Е-области (вплоть до знака) являются небольшие расхождения в значениях электрического поля, измеренных радаром в Миллстоун Хилле и рассчитанных по UAM при моделировании магнитной бури 31 марта 2001 года. Изменение значений электрического поля на 10 мВ/м способно вызвать значительное изменение (вплоть до 400 м/с и даже смену знака) значений скорости термосферного ветра, рассчитанных по формуле радарных оценок (Рис.2).

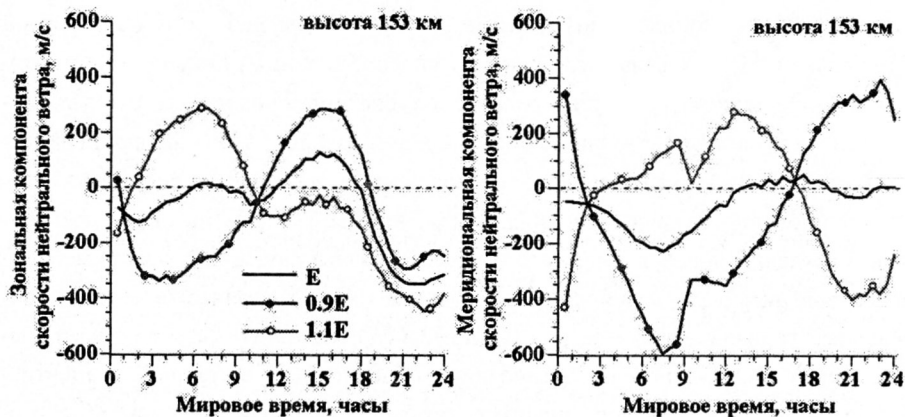


Рис.2. Компоненты скорости горизонтального нейтрального ветра на высоте 153 км, рассчитанные для 31 марта 2001 года по методу радарных оценок термосферного ветра с 0.9, 1 и 1.1 от значений электрического поля, полученного по модели UAM

Обнаруженная чувствительность скорости ветра на высотах Е-области ионосферы, определяемой методом радарных оценок, к значениям и, следовательно, к погрешностям измерений электрического поля указывает на необходимость осторожного отношения к результатам косвенных оценок ветров по измерениям ионных дрейфов методом некогерентного рассеяния.

В четвёртой главе представлены результаты математического моделирования вариаций ионосферных параметров в период 15-20 апреля 2002 года, включавший как спокойные дни, так и две геомагнитные бури (пп. 4.1), в течение которого семь радаров некогерентного рассеяния проводили наблюдения за состоянием ионосферы. Дано описание процедур и вариантов модельных расчётов ионосферных параметров (4.2), сопоставляемых с данными эмпирической модели IRI-2001 и радарных наблюдений. Приведены графики вариаций параметров ионосферы, рассчитанных по модели UAM, в сравнении с данными модели IRI-2001 и наблюдениями каждого из семи радаров некогерентного рассеяния в течение спокойных и возмущённых суток для большей части ионосферной F2-области (4.3). Описаны модификации способа задания в модели UAM потоков выпадающих энергичных электронов, системы продольных токов и численные эксперименты с различными способами задания этих входных параметров модели (4.4, 4.5). Исследовано, насколько сильно влияет на результаты численного моделирования поведения ионосферных параметров учёт колебательного возбуждения молекулярного азота (4.6). Описаны численные эксперименты с использованием в качестве одного из модулей UAM эмпирической модели нейтральных горизонтальных ветров HWM-93 (4.7). Изучены эффекты электрического поля в необычном поведении ночных значений электронной концентрации, наблюдавшихся радаром некогерентного рассеяния обсерватории Миллстоун Хилл в F-области ионосферы (4.8). Обсуждение полученных результатов проводится в пп.4.9. Выводы по главе (4.10) сводятся к следующему.

1. Основной реакцией ионосферы на геомагнитные возмущения явилось падение электронной концентрации в 2 и более раз над всеми станциями некогерентного рассеяния радиоволн, сопровождавшееся ростом температур ионов и электронов. Эти особенности ионосферной бури воспроизвела в своих результатах теоретическая модель UAM, продемонстрировав качественное согласие с наблюдениями. Подтверждено, что основным механизмом, ответственным за падение электронной концентрации, явилось изменение состава нейтральной атмосферы.

2. Количественно и качественно оценена степень зависимости результатов теоретических расчётов от входных и управляющих параметров модели UAM. Способ задания выпадений энергичных частиц значительно влияет на значения



электронной концентрации, рассчитанные не только для E-области, но и для F-области. Способ задания продольных токов оказывает значительное влияние на результаты моделирования поведения ионосферы в субавроральных и высоких широтах. Учёт колебательных состояний молекулярного азота значительно улучшает согласие результатов расчётов разных версий модели UAM как с наблюдениями, так и между собой. Ветровое увлечение плазмы термосферным горизонтальным ветром в модельных расчётах имело максимальный эффект на средних широтах.

3. Установлено, что наряду с изменением нейтрального состава поведение электронной концентрации над Миллстоун Хиллом определялось зональным переносом плазмы вследствие электромагнитного дрейфа под действием электрического поля магнитосферной конвекции. Причиной расхождения значений электронной концентрации, рассчитанных по модели UAM, с наблюдениями в ночные часы 16 и 17 апреля является расхождение модельных и измеренных значений меридионального электрического поля (Рис.3).



Рис.3. Временные вариации электронной концентрации на высоте 345 км и меридионального электрического поля над Миллстоун Хиллом 15-17 апреля 2002 года по модели UAM и данным радарных наблюдений

Наблюдения за электрическим полем над обсерваторией Миллстоун Хилл соответствовали «аномальной» картине конвекции, при которой плазма стекалась в область Миллстоун Хилла и таким образом поддерживала ночной F2-слой. Модельные расчёты воспроизвели классическую картину конвекции, при которой Миллстоун Хилл находился в зоне растекания плазмы, что и привело к резкому падению послезаходных значений электронной концентрации F2-слоя. За счёт изменения способа задания системы продольных токов, в частности токов зоны 2, в модели UAM удалось добиться согласия модельных результатов с наблюдениями электрического поля и электронной концентрации (Рис.4).



Рис.4. Временные вариации электронной концентрации на высоте 345 км и меридионального электрического поля над Миллстоун Хиллом 15-17 апреля 2002 года, рассчитанные по модели UAM с заданием продольных токов зоны 1 и зоны 2 на геомагнитных широтах 80° и 75° соответственно, в сравнении с данными радарных наблюдений

Поскольку основные результаты каждого этапа работы приведены в выводах к каждой главе, то в заключении приведены только наиболее важные из них.

### **Основные результаты работы:**

1. На основе численных экспериментов с помощью глобальной модели верхней атмосферы Земли UAM и сопоставления результатов этих экспериментов с данными радарных измерений параметров ионосферной плазмы на высотах областей E и F ионосферы даны оценки чувствительности результатов моделирования к выбору входных параметров модели и выполнена калибровка этих параметров модели, обеспечившая увеличение точности модели.

2. На основе тестирования с помощью модели UAM метода радарных оценок скорости термосферного ветра на высотах области E ионосферы обнаружено, что этот метод обладает высокой чувствительностью к значениям электрического поля и, следовательно, к погрешностям его измерения, что может приводить к существенным ошибкам метода в оценках скорости ветра вплоть до смены знака. Это позволило объяснить причину рассогласования результатов расчетов скорости ветра на высотах E-области по модели UAM с данными косвенных радарных оценок этой скорости в период бури 31 марта 2001 г. и согласия этих результатов с данными спутниковых измерений для аналогичных условий.

3. Для периода 15-20 апреля 2002 г. на основе модели UAM проведен анализ данных измерений электронной концентрации, ионной и электронной температур семью радарными некогерентного рассеяния, охватывающими практически весь диапазон широт Северного полушария и работавшими практически одновременно. Это позволило оценить степень воздействия таких процессов как изменение газового состава термосферы, возбуждение молекулярного азота, высыпания энергичных электронов, термосферная циркуляция, вариации электрического поля на поведение F-области ионосферы в этот период. В частности:

- подтверждена определяющая роль изменения состава термосферы в формировании отрицательной фазы ионосферной бури (уменьшение концентрации электронов на высотах максимума области F2) от высоких до средних широт;

- показано, что изменения параметров высыпаний авроральных электронов, геометрии, интенсивности и динамики продольных токов наиболее существенны для высокоширотной и субавроральной ионосферы, обеспечивая относительно локальные особенности протекания бури в ионосфере;

- получено, что увлечение плазмы термосферным ветром имело максимальный эффект для ионосферы на средних широтах в этот период.

4. На основе сопоставления результатов радарных наблюдений с результатами численных экспериментов по модели UAM предложен механизм формирования аномально высоких значений концентрации электронов на высотах области F2 в ночные часы на субавроральных широтах – электромагнитный дрейф ионосферной плазмы, обеспечивающий горизонтальную «сгонку» плазмы к околополуночным часам и связанный с перераспределением продольных токов зоны 2, которые расположены в экваториальной части аврорального овала.

Таким образом, в результате проделанной работы были решены поставленные задачи, нацеленные на изучение реакции ионосферы на геомагнитные бури, физическую интерпретацию данных радарных измерений ионосферных параметров, а также калибровку глобальной численной модели верхней атмосферы Земли.

#### **Основные публикации по теме диссертации**

1. Namgaladze A.A., Namgaladze A.N., Fadeeva Yu.V., Goncharenko L.P., Salah J.E. Lower thermosphere and ionosphere behaviour during a strong magnetic storm of March 31, 2001: modelling and comparison with the Millstone Hill incoherent scatter radar measurements // Proceedings of the MSTU, vol.6, No.1, p.87-92, 2003.
2. Namgaladze A.A., Zubova Yu.V., Namgaladze A.N., Martynenko O.V., Doronina E.N., Goncharenko L.P., Van Eyken A., Howells V., Thayer J.P., Taran V.I., Shpynev B., Zhou Q. Modelling of the ionosphere/thermosphere behaviour during the April 2002 magnetic storms: A comparison of the UAM results with the ISR and NRLMSISE-00 data // Adv. in Space Research, V.37, No.2, p.380-391, 2006.
3. Намгаладзе А.А., Намгаладзе А.Н., Доронина Е.Н., Зубова Ю.В. Численное моделирование поведения горизонтальных термосферных ветров в Е-области ионосферы во время сильной геомагнитной бури 31 марта 2001 г. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции “Наука и образование-2002”, МГТУ, Мурманск, с.513-514, 2002.
4. Namgaladze A.A., Namgaladze A.N., Doronina E.N., Zubova Yu.V. Numerical modeling of the lower thermosphere and ionosphere behavior during the March 31,

- 2001 magnetic storm // Proceedings of the 4th International Conference "Problems of Geocosmos", Saint-Petersburg, p.172-175, 2002.
5. Namgaladze A.A., Namgaladze A.N., Martynenko O.V., Doronina E.N., Knyazeva M.A., Zubova Yu.V. Numerical modeling of the thermosphere, ionosphere and plasmasphere behaviour during the April 2002 magnetic storms // Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the XXVI Annual Apatity Seminar, Preprint PGI, p.74-78, 2003.
  6. Zubova Yu.V., Stakhov K.A., Martynenko O.V., Namgaladze A.A. The precipitating electron fluxes as input parameters for the April 15-25, 2002 magnetic storms modeling // Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the XXVI Annual Apatity Seminar, Preprint PGI, p.98-101, 2003.
  7. Намгаладзе А.А., Мартыненко О.В., Зубова Ю.В., Доронина Е.Н., Князева М.А., Намгаладзе А.Н. Математическое моделирование эффектов геомагнитных бурь 17-20 апреля 2002 года в верхней атмосфере Земли // Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Наука и образование-2003", часть V, МГТУ, Мурманск, с.74, 2003.
  8. Зубова Ю.В., Стахов К.А., Долматова Е.С. Задание высыпаний энергичных электронов при моделировании магнитных бурь 17-20 апреля 2002 года// Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Наука и образование-2003", часть V, МГТУ, Мурманск, с.80-81, 2003.
  9. Намгаладзе А.А., Мартыненко О.В., Фадеева Ю.В., Намгаладзе А.Н., Goncharenko L.P., Salah J.E., Van Eyken A., Howells V., Thayer J.P., Таран В.И., Шпынев Б.Г., Zhou Q. Вариации электронной концентрации в F2-области ионосферы в период 15-20 апреля 2002 года по данным установок некогерентного рассеяния и математического моделирования // Материалы Международной научно-технической конференции "Наука и образование-2004", ч.5, МГТУ, Мурманск, с.18-21, 2004
  10. Зубова Ю.В., Намгаладзе А.Н., Намгаладзе А.А., Мартыненко О.В., Goncharenko L.P., Salah J.E., Van Eyken A., Howells V., Thayer J.P., Таран В.И., Шпынев Б., Zhou Q. Поведение электронной концентрации, электронной и ионной температур 15-20 апреля 2002 года по данным моделей UAM и IRI-2001, и установок некогерентного рассеяния // Материалы Международной

научно-технической конференции “Наука и образование-2005”, МГТУ, Мурманск, часть 5, с.55-58, 2005.

11. Zubova Yu.V., Namgaladze A.A., Goncharenko L.P. A model study of the wind influence on the ionospheric F2-layer behaviour during the April 2002 magnetic storms. Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the XXX Annual Apatity Seminar, Preprint PGI, p.202-206, 2007.
12. Зубова Ю.В., Доронина Е.Н., Намгаладзе А.А., Гончаренко Л.П. Влияние термосферных ветров на поведение F2-слоя ионосферы в период магнитных бурь апреля 2002 года // Наука и образование – 2007 [Электронный ресурс]: материалы межд. науч.-техн. конф., Мурманск: МГТУ, с. 338-345, 2007. [НТЦ «Информрегистр» № 0320700491 от 05.03.07г.].
13. Zubova Yu.V., Namgaladze A.A., Goncharenko L.P. A model study of the FAC2 influence on the night-time Ne variations over the Millstone observatory during the April 2002 magnetic storms // Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the XXXI Annual Apatity Seminar, Preprint PGI, p.145-148, 2008.
14. Зубова Ю.В., Намгаладзе А.А., Гончаренко Л.П. Влияние продольных токов зоны 2 на поведение F2-слоя ионосферы над Миллстоун Хиллом 16 апреля 2002 года // Наука и образование – 2008 [Электронный ресурс]: материалы межд. науч.-техн. конф., Мурманск: МГТУ, с. 338-345, 2008. [НТЦ «Информрегистр» № 0320800238 от 21.01.08г.].
15. Zubova Yu.V., Namgaladze A.A., Goncharenko L.P. Model interpretation of the unusual F-region night-time electron density behaviour observed by the Millstone Hill incoherent scatter radar on April 16-17, 2002 // Proceedings of the 7th International Conference “Problems of Geocosmos”, Saint-Petersburg, p.304-308, 2008.
16. Зубова Ю.В., Намгаладзе А.А. Исследование чувствительности результатов глобальной численной модели верхней атмосферы Земли к способам задания входных и управляющих параметров // Наука и образование – 2009 [Электронный ресурс]: материалы межд. науч.-техн. конф., Мурманск: МГТУ, с.231-235, 2009. [НТЦ «Информрегистр» № 0320900170].
17. Зубова Ю.В., Намгаладзе А.А. Эффекты учёта колебательных состояний молекулярного азота при численном моделировании поведения F2-области ионосферы Земли в период сильных магнитных бурь // Вестник МГТУ, том 12, №2, с.316-327, 2009.





102

---

Подписано в печать 03.07.2009. Формат 60х84/16. Печ. л. 0,5.  
Заказ 3203. Печать офсетная. Тираж 100 экз.  
Отпечатано с готового оригинал-макета  
Типография ООО «ТРОВАНТ». ЛР № 071961 от 01.09.99.  
142191, г. Троицк Московской обл., м-н «В», д.52.  
Тел. (495) 775-43-35, (4967) 51-09-67, 50-21-81